

⑫ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

② EP 0 431 835 B1

⑩ DE 690 22 692 T 2

⑤ Int. Cl.⁸:
H 01 L 29/08
H 01 L 29/737

② Deutsches Aktenzeichen: 690 22 692.6
⑥ Europäisches Aktenzeichen: 90 312 979.9
⑥ Europäischer Anmeldetag: 29. 11. 90
⑦ Erstveröffentlichung durch das EPA: 12. 6. 91
⑦ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 27. 9. 95
⑦ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 14. 3. 96

③ Unionspriorität: ③ ③ ③
30.11.89 JP 311548/89 30.11.89 JP 311550/89
28.02.90 JP 48320/89 28.02.90 JP 48321/89

⑦ Patentinhaber:
Canon K.K., Tokio/Tokyo, JP

⑦ Vertreter:
Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner, 80336 München

⑧ Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT, NL

⑦ Erfinder:
Morishita, Masakazu, c/o Canon Kabushiki Kaish,
Tokyo, JP

⑤ Bipolares Halbleiterbauelement.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II 5 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 690 22 692 T 2

DE 690 22 692 T 2

Auch in dem Fall, bei dem der Unterschied des Übertragungsfaktors von positiven Löchern und Elektronen gering ist, kann kein Sperren von positiven Löchern erreicht werden. Obwohl die Verwendung eines derartigen Unterschieds des Übertragungsfaktors bei einem npn-Transistor angewandt werden kann, kann sie bei einem pnp-Transistor außerdem nicht angewandt werden, dessen Sperrschicht unterschiedlich ist.

Demgegenüber ist bei dem herkömmlichen heterobipolaren Transistor mit einem μSi -Halbleiteremitter die Emitter-Basis-Sperrschicht, nämlich die Grenzfläche zwischen dem Emitter und der Basis unbeständig, und in dem Bereich geringen Stroms des Basisstroms herrscht insbesondere eine Rekombination vor, wodurch der Stromverstärkungsfaktor h_{FE} stark abgesenkt wird.

Auch führt bei dem herkömmlichen Mikrokristall-Silizium ($\mu\text{c-Si}$) eine zusätzliche Wärmebehandlung zu einer Verringerung des Stromverstärkungsfaktors h_{FE} selbst bei beispielsweise 450°C. Eine derartige Verringerung kann insbesondere durch Absenken der Bandlücke und Beseitigung von H (Wasserstoff), das in dem Mikrokristall-Silizium ($\mu\text{c-Si}$) usw. enthalten ist, wegen der erhöhten Partikelgröße des Mikrokristall-Siliziums ($\mu\text{c-Si}$) verursacht gesehen werden.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung ist in Anbetracht der vorstehend beschriebenen Probleme gemacht worden, und ihr liegt die Aufgabe zugrunde, eine Halbleitervorrichtung zu schaffen, die eine Zunahme des Basisstroms in einem Bereich geringen Stroms verhindern und einen hohen Stromverstärkungsfaktor über einen breiten Bereich des Kollektorstroms erhalten kann, und sie ist bei Flächentransistoren von allen Arten von npn- und pnp-Transistoren anwendbar gemacht worden.

Erfindungsgemäß wird eine Halbleitervorrichtung geschaffen mit:

einem Kollektorbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps,

einem Basisbereich eines zweiten Leitfähigkeitstyps,

5 einem Emitterbereich des ersten Leitfähigkeitstyps mit einer Dicke, die nicht größer als eine Diffusionslänge eines von dem Basisbereich injizierten Minoritäts-Ladungsträgers ist,

10 einem Dünnfilm, der auf dem Emitterbereich zum Fließenlassen eines Tunnelstroms vorgesehen ist, und

einer Halbleitermaterial-Schicht, die auf den Dünnfilm geschichtet ist und eine Energieband-Lücke aufweist, die zumindest breiter als die des Materials des Emitterbereichs ist.

15

Bei der vorstehend beschriebenen Halbleitervorrichtung sind ein Emitterbereich, ein Dünnfilm sowie eine auf den Dünnfilm geschichtete Halbleitermaterial-Schicht vorgesehen. Der grundlegende Aufbau einer Halbleitervorrichtung ist aus einer
20 Veröffentlichung von dem "International Electron Devices Meeting", "Technical Digest" vom 4. bis 6. Dezember 1978, IEEE New York, S. 333-335 mit dem Titel "The SIS Tunnel Emitter" von H.C. De Graaff u.a. bekannt, in der ein Silizium-npn-Transistor mit einem einkristallinen n^+ -Silizium-
25 Emitterbereich, einer isolierenden Schicht und einem auf die isolierende Schicht geschichteten n^+ -Polysilizium-Halbleitermaterial beschrieben ist. Die isolierende Schicht weist eine Dicke von 2 bis 6 nm auf, und ein Tunnelstrom fließt hindurch. Zwischen den Energieband-Lücken des Emitterbereichs
30 und der Halbleitermaterial-Schicht wird nicht unterschieden, und von Fig. 3 dieses Schriftstücks scheinen diese Energieband-Lücken dieselben zu sein.

Die US-4 672 413 (Gardener) offenbart auch einen bipolaren
35 Transistor mit einer Tunnelsperre aus einem Dünnfilm-Isolationsmaterial zwischen einem stark dotierten n-Emitter und einem p-Basisbereich oder wahlweise zwischen einem n-Emitterbereich und einem Bereich desselben Leitfähigkeitstyps wie der Emitterbereich. Auf ähnliche Weise wird zwischen den Energie-

band-Lücken des Materials an jeder Seite des Dünnfilms nicht unterschieden, und von Fig. 4 der Zeichnung scheinen diese Bandlücken dieselben zu sein.

5 KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

Fig. 1 zeigt eine schematische Schnittansicht einer Halbleitervorrichtung zum Veranschaulichen des ersten Ausführungsbeispiels.

10

Fig. 2 zeigt eine Abbildung, die das Potential entlang der Linie A-A' gemäß Fig. 1 darstellt.

Fig. 3A ist ein erläuterndes Diagramm, das den Zusammenhang
15 zwischen Potential und Abstand zur Veranschaulichung des Tunnelfilms darstellt.

Fig. 3B ist ein veranschaulichendes Diagramm, das den Zusammenhang zwischen Potential und Abstand darstellt, wenn eine
20 entsprechende Spannung an den Tunnelfilm angelegt wird.

Fig. 4 zeigt ein Diagramm zum Vergleich von Spannung und Strom zwischen einem erfindungsgemäßen Transistor und einem
herkömmlichen Transistor.

25

Fig. 5 zeigt ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen der Störstellenkonzentration und der Lebensdauer von positiven Löchern in dem Emitterbereich darstellt.

30 Fig. 6A ist eine erläuternde Darstellung, die Energieniveaus bei einer Sperrschicht aus n-Si und n-SiC darstellt.

Fig. 6B ist eine erläuternde Darstellung, die Energieniveaus bei Sperrschichten aus n-Si, n-SiC und n-Si darstellt.

35

Fig. 6C ist eine erläuternde Darstellung, die Energieniveaus von n-Si, eines n-SiC-Dünnfilms und von n-Si darstellt.

Fig. 7 ist eine schematische Schnittansicht, die das zweite Ausführungsbeispiel veranschaulicht.

Fig. 8 ist eine schematische Schnittansicht, die das dritte
5 Ausführungsbeispiel veranschaulicht.

Fig. 9 ist ein Schaltbild, das ein Ausführungsbeispiel einer elektronischen Vorrichtung darstellt, die eine Halbleitervorrichtung aufweist.

10

Ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

Die zu beschreibende Halbleitervorrichtung ist mit einem Kollektorbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps, einem Basisbereich eines zweiten Leitfähigkeitstyps und einem Emitterbereich des ersten Leitfähigkeitstyps versehen und weist einen Dünnschichtfilm, der auf dem Emitterbereich vorgesehen ist, durch den ein Tunnelstrom fließen kann, sowie eine Halbleitermaterial-Schicht auf, die auf dem Dünnschichtfilm vorgesehen ist und eine unzulässige Bandlücke aufweist, die breiter als die des vorstehend erwähnten Emitterbereichs ist. Bei dieser Vorrichtung weist der Emitterbereich eine Dicke auf, die nicht größer als die Diffusionslänge von aus dem Basisbereich injizierten Minoritäts-Ladungsträgern ist.
15
20
25

Die Halbleitervorrichtung sollte möglichst den vorstehend erwähnten Dünnschichtfilm aufweisen, der auf eine Dicke eingestellt ist, die bezüglich sowohl Elektronen als auch positiven Löchern einen Tunneleffekt entstehen läßt.
30

Die Halbleitervorrichtung sollte eine Halbleiterschicht aufweisen, die eine unzulässige Bandlücke aufweist, die schmaler als die der Halbleitermaterial-Schicht ist und auf die Halbleitermaterial-Schicht geschichtet ist.
35

Darüberhinaus kann die Halbleitervorrichtung bei einer elektronischen Vorrichtung als photoelektrisches Wandlerelement verwendet werden.

Wie vorstehend beschrieben ist ein Dünnsfilm, der ein Auftreten eines Tunneleffekts sowohl von positiven Löchern als auch von Elektronen verursacht, auf einem N^+ -Emitterbereich ausgebildet, und außerdem kann durch Herstellen einer Halbleitermaterial-Schicht mit einem breiteren unzulässigen Bandbereich als der Emitterbereich auf dem Dünnsfilm in dem Fall des bipolaren npn-Transistors ein Einfließen von positiven Löchern durch die Halbleitermaterial-Schicht gesperrt werden, damit
10 eine Verringerung des Basisstroms bewirkt wird.

Die Filmdicke des auf dem Emitterbereich hergestellten Dünnsfilms sollte möglichst 5 nm (50 Å) oder weniger betragen. Die Filmdicke des vorstehend erwähnten Dünnsfilms sollte möglichst
15 so dünn wie möglich sein. Wenn die Dicke dünner ist, wird der direkte Reihenwiderstand verringert, wodurch positive Löcher auf ähnliche Weise wie Elektronen einem Tunneleffekt unterzogen werden.

20 Auch kann, falls eine Emitter-Basis-Sperrschicht in einem Einkristall hergestellt wird, eine Zunahme des Basisstroms in einem Bereich eines geringen Stroms unterdrückt werden.

Nachstehend wird das erste bevorzugte Ausführungsbeispiel unter Bezug auf Fig. 1 beschrieben.
25

In dieser Figur bezeichnet 1 ein Siliziumsubstrat, und dieses Substrat 1 ist ein n-Substrat, das zu einem n-Leitfähigkeitstyp gemacht worden ist, indem Störstellen bzw. eine Unrein-
30 heit eines Elements der Gruppe V der Periodentabelle der Elemente wie Phosphor (P), Arsen (As), Antimon (Sb) usw. dotiert worden ist, oder es ist ein p-Substrat, das zu einem p-Leitfähigkeitstyp gemacht worden ist, indem Störstellen bzw. eine Unreinheit eines Elements der Gruppe III der Perioden-
35 tabelle der Elemente wie Bor (B), Aluminium (Al), Gallium (Ga) usw. dotiert worden ist.

2 ist ein beerdigter bzw. eingelassener n^+ -Bereich, und der beerdigte n^+ -Bereich weist eine Störstellenkonzentration von P, As, Sb, usw. von 10^{16} bis 10^{20} [cm^{-3}] auf.

5 3 ist ein n-Leitfähigkeitstyp-Bereich als Teil des Kollektorbereichs, und der n-Leitfähigkeitstyp-Bereich 3 ist ein Bereich mit einer geringen Störstellenkonzentration (beispielsweise ungefähr 10^{13} bis 5×10^{17} [cm^{-3}]), der durch eine Epitaxietechnik usw. hergestellt worden ist.

10

4 ist ein p-Leitfähigkeitstyp-Bereich als Basisbereich, und der p-Leitfähigkeitstyp-Bereich 4 ist ein Bereich, der eine Unreinheit wie B, Al, Ga, usw. mit einer Störstellenkonzentration von 10^{15} bis 10^{20} [cm^{-3}] aufweist.

15

5 ist ein P^+ -Bereich, und der P^+ -Bereich ist ein Bereich, der eine Unreinheit wie B, Al, Ga, usw. mit einer Störstellenkonzentration von 10^{17} bis 10^{20} [cm^{-3}] zum Senken des Basiswiderstands enthält.

20

6 ist ein n^+ -Emitterbereich.

7 ist ein n^+ -Bereich, und der n^+ -Bereich ist zum Anschließen einer nachstehend beschriebenen Kollektorelektrode 202 zu dem
25 vorstehend erwähnten beerdigten Bereich 2 vorgesehen, damit der Kollektorwiderstand verringert wird.

8 ist eine Halbleitermaterial-Schicht, und die Halbleitermaterial-Schicht 8 weist ein Material mit einer breiteren
30 Lücke eines unzulässigen Bands verglichen mit dem Material des vorstehend erwähnten Emitterbereichs 6 auf, damit die aus der Basis injizierten Ladungsträger gesperrt werden.

30 ist ein Dünnsfilm, und der Dünnsfilm 30 weist ein dünnes
35 Isolationsmaterial zum Fließenlassen eines Tunnelstroms auf.

101, 102 und 103 sind Isolationsfilme zum Trennen der Elektroden, Elemente und Anschlüsse bzw. Drähte.

200, 201 und 202 sind jeweils eine Emittierelektrode, eine Basis-
selektrode und eine Kollektorelektrode, und die entsprechenden Elektroden 200, 201 und 202 sind aus Metallen, Siliziden usw. gebildet.

5

Vorzugsweise sollte der vorstehend erwähnte Dünnsfilm 30 extrem dünn gemacht werden, wodurch sowohl Elektronen als auch positiven Löchern gestattet wird, sich durch ihn zu bewegen (es ist nicht erforderlich, positive Löcher zu sperren) und
10 den Emitterwiderstand zu verringern. Die vorstehend erwähnte Halbleitermaterial-Schicht 8 weist ein Material mit einer breiten unzulässigen Bandlücke auf, weshalb sie aus der Basis injizierte Minoritäts-Ladungsträger sperrt.

15 Fig. 2 zeigt den Potentialverlauf an dem Querschnitt A-A' gemäß Fig. 1.

In dieser Figur bezeichnet W_B die neutrale Bereichsbreite der Basis, W_{EO} die neutrale Bereichsweite des Emitters und δ die
20 Dicke des Dünnsfilms 30.

Der wesentlichste charakteristische Zweck des vorstehend erwähnten Dünnsfilms 30 besteht darin, die vorstehend erwähnte Halbleitermaterial-Schicht 8 von dem Einkristall in dem Emitterbereich 6 zu trennen, wodurch eine Stabilisierung der
25 Halbleitermaterial-Schicht 8 bewirkt wird. Wenn im einzelnen die entsprechenden Bereiche von Emitter, Basis und Kollektor Silizium als Substrat verwenden, falls ein Mikrokristall (μc) aus Silizium mit einem unzulässigen Band als Halbleitermaterial-schicht 8 mit einer breiten unzulässigen Bandlücke gewählt wird, wenn der vorstehend erwähnte Dünnsfilm 30 nicht
30 erzeugt wird, beginnt wegen der Wärmebehandlung nach Bildung des Mikrokristall-Siliziums eine Epitaxie von einem einkristallinen Substrat, und eine Kristallform an einer Grenzfläche wird verändert, wodurch eine Verringerung des Strom-
35 verstärkungsfaktors h_{FE} verursacht wird. Außerdem tritt eine Teilepitaxie auf. Eine Veränderung der Eigenschaften des bipolaren Transistors wird wesentlich größer. Durch Herstellung des Dünnsfilms 30 können die Eigenschaften des Elements von

den Einflüssen der Veränderung geschützt werden, die bei der Kristallform eines Mikrokristalls nicht auftritt.

Falls demgegenüber ein Polykristall aus GaAs als Halbleitermaterial-Schicht 8 gewählt wird, verändern sich seine elektrisch leitenden Eigenschaften, weil Ga oder As eine Unreinheit für Silizium ist, das das Substratmaterial ist. Kurz gesagt kann der Dünnschicht 30 eine Diffusion der Unreinheit bzw. Störstellen sperren, oder selbst wenn er sie nicht sperren kann, kann er eine derartige Diffusion verringern.

Als die vorstehend erwähnte Halbleitermaterial-Schicht 8 kann auch SiC usw. verwendet werden. Als Kristallform der Halbleitermaterial-Schicht 8 können sämtliche amorph, polykristallinen und einkristallinen Formen angewandt werden.

Als Dünnschicht 30, der verursacht, daß der Tunneleffekt auftritt, sind chemisch beständige Materialien wie SiO_2 , Si_3N_4 , Al_2O_3 usw. bevorzugt. Das Material ist nicht auf Isolationsmaterialien beschränkt, sondern Halbleiter wie SiC usw. können auch verwendet werden.

Die Kristallform kann amorph, polykristallin oder einkristallin sein, obwohl für den Zweck des Teilens der Bereiche 8 und 6 eine amorphe Form bevorzugt werden würde. Jedoch sollten bei der Wahl dieser Materialien Materialien, die eine verschlechternde Wirkung für das Substratmaterial haben können, natürlich vermieden werden.

Nachstehend wird der vorstehend erwähnte Tunneleffekt beschrieben. Wenn sich Elektronen aus der Halbleitermaterial-Schicht 8 durch den Emitterbereich E_R gemäß Fig. 2 bewegen, kann er unter Bezug auf ein in Fig. 3 dargestelltes Potentialschichtmodell beschrieben werden. In diesem Fall wird, wenn ϕ_B als Schichthöhe und a als Schichtbreite definiert sind, die Tunnel-Wahrscheinlichkeit T_t des Elektrons mit einer Energie E und einer wirksamen Masse m^* aus der Schrödinger-Gleichung zu:

$$T_t = [1 + (\Phi_B^2 \sinh^2(\beta a)) / 4E(\Phi_B - E)]^{-1} \quad (1),$$

wobei gilt:

$$\beta = [2m^*(\Phi_B - E)/\hbar^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2).$$

Falls $\Phi_B \gg E$ und $\beta a \gg 1$ gilt, wird T_t in diesem Fall zu

$$T_t = 16 E/\Phi_B e^{-2\beta a} \quad (3),$$

wobei gilt:

$$\beta \approx (2m^*\Phi_B)^{\frac{1}{2}}/\hbar \quad (4).$$

15 Wenn daraufhin eine Spannung angelegt wird, verläuft das Potential in dem Dünnfilm 30 gemäß Fig. 3B schief, wodurch die Tunnel-Wahrscheinlichkeit T_t erhöht wird.

In diesem Fall kann der Gesamt-Tunnelstrom I_{et} theoretisch
20 wie folgt ausgedrückt werden:

$$I_{et} = A \int_x^\infty F_{C1}(E) n_{C1}(E) T_t (1 - F_{C2}(E)) n_{C2}(E) dE \quad (5).$$

In der vorstehend angeführten Formel ist A eine Konstante, T_t die Tunnel-Wahrscheinlichkeit in der vorstehend angeführten
30 Formel (1), F_{C1} , F_{C2} sind Fermi-Dirac-Verteilungsfunktionen der vorstehend erwähnten Halbleitermaterial-Schicht 8 und des Emitterbereichs E_R , und n_{C1} sowie n_{C2} stellen die Zustandsdichten der Leitungsbänder der beiden Materialien dar.

35 Bei der vorstehend angeführten Formel (5) wird, wenn $\Phi_B \gg E$ gilt, der die Dicke des Dünnfilms 30 betreffende Gegenstand aus dem zu integrierenden Term herausgenommen, so daß er wird zu:

$$I_{et} \sim e^{-2\beta a} \quad (6),$$

woraus ersichtlich ist, daß ein Effekt mit einer Exponentialfunktion in der Dicke des Dünnsfilms 30 auftritt. Auf diese Weise trägt die Dicke am meisten zu dem Elektronen-Tunnelstrom I_{et} bei.

5

Bei der vorangehenden Formel (5) ist ein anderer wichtiger Term der folgende:

$$F_{C1} (1 - F_{C2}) \quad (7),$$

10

wobei F_{C1} eine Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Elektrons an der Seite von A, $(1 - F_{C2})$ eine Wahrscheinlichkeit des Nicht-Auftretens eines Elektrons an der Seite von B bezeichnet, und ein Produkt daraus würde einen Elektronenübergang wesentlich beeinflussen, aber zum Erhöhen dieses Produkts kann eine Spannung, die ungefähr kT oder mehr entspricht, an den Dünnsfilm 30 angelegt werden, und sie kann beispielsweise 0,025 V bei Zimmertemperatur betragen.

15

20 In dem Fall eines bipolaren Transistors ist der Spannungsabfall an dem vorstehend erwähnten Dünnsfilm 30 ungefähr der vorstehend erwähnte Spannungswert, und gemäß Fig. 3B wird während des Anlegens der Spannung die Energie der Auftretenswahrscheinlichkeit wie durch A und B dargestellt verschoben, wodurch in dem Energieband mit derselben Energie wie die Energie von Elektronen auf der Seite der Halbleitermaterialschicht 8 (die linke Seite in Fig. 3B) keine Elektronen an der Emitterseite (rechte Seite in Fig. 3B) auftreten, und ein Übergang von Elektronen leicht bewirkt werden kann. Auch wird
25 durch Anlegen einer Spannung an dem Dünnsfilm 30 die Schichthöhe leicht verringert.
30

Gemäß Fig. 2 sind sowohl die Dicke W_{EO} des Emitterbereichs E_R als auch die Konzentration N wichtige Faktoren zum Verringern
35 des Basisstroms.

Gewöhnlich weist der vorstehend erwähnte Dünnsfilm 30 eine Dicke von 5 nm (50 Å) oder weniger auf, was vergleichsweise gering verglichen mit der Dicke des n^+ -Emitterbereichs 6 ist,

und der Abstand W_E von dem Emitter-Basis-Sperrschichtabschnitt zu der Halbleitermaterial-Schicht 8 wird dargestellt durch

$$W_E \approx W_{EO} + \delta \quad (8)$$

und wird im wesentlichen gleich W_{EO} .

Eine Mindestgrenze einer Dicke des Films 30 ist bevorzugt 0,2 bis 0,3 nm (2 bis 3 Å). Außerdem ist in dem Fall von SiO_2 der Film 30 vorzugsweise eine Einatomschicht mit gleichmäßig verteiltem O bzw. Sauerstoff.

Demgegenüber wird ein anderer wichtiger Faktor, nämlich ein Sperren von aus der Basis injizierten Minoritäts-Ladungsträgern an der Grenzfläche zwischen der Halbleitermaterial-Schicht 8 und dem Dünnschicht 30 bewirkt. Da die Tunnel-Wahrscheinlichkeit für Elektronen und positive Löcher in dem Dünnschicht 30 für Elektronen größer ist, wird natürlich die Verringerungswirkung des Basisstroms durch positive Löcher als überlappender Vorgang von beiden erhalten.

Nachstehend werden die Bestandteile des Stroms des vorstehend beschriebenen bipolaren Transistors beschrieben.

Der Kollektorstrom J_c wird durch die folgende Formel (9) angenähert:

$$J_c = q \cdot D_n \cdot n_i^2 / (N_B \cdot W_B) (e^{(V_{BE}/kT)} - 1) \quad (9),$$

wobei der Diffusionsabstand länger als die Basisbreite gemacht wird. N_B ist die Basiskonzentration, W_B die Basisbreite, D_n der Diffusionskoeffizient von Elektronen, n_i die Intrinsic-Ladungsträgerdichte und V_{BE} die Spannung, die zwischen die Basis und den Emitter angelegt wird.

Demgegenüber weist der Basisstrom den Rekombinationsstrom J_{Brec} in der Basis und den Diffusionsstrom J_{Bdiff} der positi-

ven Löcher auf, die aus der Basis in den Emitter injiziert werden.

In diesem Fall wird der Rekombinationsstrom J_{Brec} ausgedrückt
5 durch:

$$J_{Brec} = q \cdot D_n \cdot n_i^2 \cdot W_B / (2N_B \cdot L_n^2) \{e^{(V_{BE}/kT)} - 1\} \quad (10),$$

wobei L_n der Diffusionsabstand von Elektronen ist.

10

Bei dem herkömmlichen bipolaren Transistor mit der gleichmäßigen Sperrschicht ist J_{Bdiff} die Hauptkomponente, und keine hohe Stromverstärkung kann erhalten werden.

15 Der Diffusionsstrom J_{Bdiff1} bei dem herkömmlichen gleichmäßigen bipolaren Transistor wird, wenn die Diffusionslänge L_p der positiven Löcher kleiner als die Emitterdicke W_E ist (Fall 1: $L_p \ll W_E$), ausgedrückt durch:

$$20 \quad J_{Bdiff1} = q \cdot D_p \cdot n_i^2 / (L_p \cdot N_E) \{e^{(V_{BE}/kT)} - 1\} \quad (11).$$

Wenn demgegenüber ein Verengen der Emitter-Sperrschicht ausgeführt wird, was durch eine höhere Integration begleitet ist, wird der Zusammenhang zu: $L_p \gg W_E$ (Fall 2), wodurch der
25 Diffusionsstrom J_{Bdiff2} ausgedrückt wird durch:

$$J_{Bdiff2} = q \cdot D_p \cdot n_i^2 / (W_E \cdot N_E) \{e^{(V_{BE}/kT)} - 1\} \quad (12).$$

Deswegen wird der Diffusionsstrom weiterhin größer, wodurch
30 der Stromverstärkungsfaktor h_{FE} des bipolaren Transistors verringert wird.

Wenn die Rekombinationsgeschwindigkeit an der ungleichmäßigen Grenzfläche zu einem vernachlässigbaren Wert gemacht wird,
35 wird der Diffusionsstrom J_{Bdiff3} durch die folgende Formel (13) ausgedrückt ($L_p \gg W_E$):

$$J_{Bdiff3} = q \cdot D_p \cdot W_E \cdot n_i^2 / (L_p^2 \cdot N_E) \{e^{(V_{BE}/kT)} - 1\} \quad (13).$$

Bei dem bipolaren Transistor wird bei dem vorstehend erwähnten Fall 1 der Diffusionsstrom J_{Bdiff} zu dem W_E/L_B -fachen bezogen auf den herkömmlichen bipolaren Transistor mit gleichmäßiger Sperrschicht.

5

Außerdem wird bezogen auf den vorstehend erwähnten Fall 2 der Diffusionsstrom J_{Bdiff} zu dem $(W_E/L_P)^2$ -fachen.

10 Auf diese Weise kann gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel der Diffusionsstrom J_{Bdiff} wesentlich verringert werden. Mit anderen Worten kann der Stromverstärkungsfaktor h_{FE} wesentlich erhöht werden.

15 Bei dem herkömmlichen bipolaren Transistor mit MIS-Anordnung besteht kein Diffusionsstrom J_{Bdiff} , weil $W_E = 0$ gilt, aber andere Stromkomponenten bestehen.

20 Fig. 4 zeigt ein Diagramm, das schematisch die Strom-Spannung-Kennlinie des Transistors darstellt, wobei die Abszisse die zwischen der Basis und den Emitter angelegte Spannung und die Ordinate den Basisstrom I_B sowie den Kollektorstrom I_C darstellt, die in logarithmischen Werten abgetragen sind. Bei dem bipolaren Transistor verlaufen der Kollektorstrom I_C und der Basisstrom I_B im wesentlichen parallel zueinander, und
25 auch in dem Bereich geringen Stroms (H_p) wird der Stromverstärkungsfaktor h_{FE} ($= I_C/I_B$) zu einem konstanten Wert, aber bei dem herkömmlichen bipolaren Transistor mit MIS-Anordnung fließt ein übermäßig hoher Strom in dem Bereich geringen Stroms (H_0).

30

Der Basisstrom bei den bipolaren Transistoren ist hauptsächlich der durch die vorstehend angeführte Formel (10) ausgedrückte Rekombinationsstrom, und der Höchstwert h_{FEmax} des Stromverstärkungsfaktors in diesem Fall beträgt:

35

$$h_{FEmax} = 2 \cdot (L_n/W_B)^2 \quad (14),$$

und die obere Grenze von h_{FE} wird nur durch die Basisbedingungen bestimmt. Gemäß dem Ausführungsbeispiel wird h_{FE} zu 10000 oder mehr.

5 Fig. 5 zeigt die Zusammenhänge zwischen der Störstellenkonzentration in dem vorstehend erwähnten n^+ -Emitterbereich 6 und dem Diffusionsabstand L_p der Minoritätsladungsträger (positiven Löcher) und der Lebensdauer τ_p der Minoritätsladungsträger (positiven Löcher). Gemäß einem durch die Formel
10 (13) bestimmten Zustand sollte die Emittertiefe zu zumindest ungefähr $1/5$ des Diffusionsabstandes der positiven Löcher gemacht werden.

Nachstehend wird das Herstellungsverfahren der Halbleitervor-
15 richtung gemäß Fig. 1 beschrieben.

(1) Auf einem Substrat 1 eines vorbestimmten Leitfähigkeits-
typs (p-Typ oder n-Typ) wird ein beerdigter bzw. eingeschlossener n^+ -Bereich 2 mit einer Störstellenkonzentration
20 von 10^{15} bis 10^{19} [cm^{-3}] durch Ioneninjektion (oder Störstellendiffusion usw.) von As, Sb, P usw. erzeugt.

(2) Durch Epitaxietechnik usw. wird ein n-Leitfähigkeitstyp-Bereich 3 mit einer Störstellenkonzentration von 10^{14} bis
25 10^{17} [cm^{-3}] gebildet.

(3) Ein n^+ -Bereich 7 zum Verringern des Widerstands des Kollektors wird (mit einer Störstellenkonzentration von 10^{17} bis 10^{20} [cm^{-3}]) gebildet.
30

(4) Ein Isolationsfilm 102 zur Elemententrennung wird durch das selektive Oxidationsverfahren oder das CVD-Verfahren bzw. das chemische Gasabscheideverfahren usw. hergestellt.

35 (5) In dem aktiven Bereich werden ein p^+ -Bereich 5 sowie ein p-Bereich 4, der der Basisbereich ist, durch das Ioneninjektionsverfahren usw. gebildet.

(6) Nach Öffnen eines Emitterkontakts auf dem Isolationsfilm 101 wird ein mit As, Sb, P usw. dotierter n^+ -Emitterbereich (Störstellenkonzentration 5×10^{17} bis $5 \times 10^{20} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$) durch das Ioneninjektionsverfahren oder das Wärmediffusionsverfahren erzeugt.

(7) Ein Dünnsfilm 30 wird durch Oxidation bei einer geringen Temperatur von 500°C bis 650°C oder durch Wärmeoxidation durch schnelle Wärmebeschleunigung (RTA, "rapid thermal acceleration") hergestellt.

(8) Nach Aufbringen von zu n^+ -dotiertem Mikrokristall-Silizium entsprechend dem Plasma-CVD-Verfahren auf den vorstehend erwähnten Dünnsfilm 30 wird es mit Mustern versehen.

(9) Ein Isolationsfilm 103 wird aufgebracht, der ausheilt und dann einem Öffnen eines Kontaktes unterzogen wird..

(10) Al-Si (1%), das zu der Elektrode 200 wird, wird einer Kathodenzerstäubung bzw. einem Sputtern unterzogen, was von einem Versehen des Al-Si mit Mustern gefolgt ist.

(11) Nach einer Legierungsbildung der Al-Si-Elektrode wird ein Passivierungsfilm gebildet.

Gemäß dem vorstehend beschriebenen Verfahren wird ein bipolarer Transistor mit MIS-Anordnung hergestellt.

Als vorstehend erwähnter Dünnsfilm 30 ist ein Siliziumoxidfilm optimal, weil er bei einer geringen Temperatur leicht hergestellt werden kann, aber ein Isolationsfilm wie ein Siliziumnitridfilm, ein Aluminiumfilm usw. kann auch verwendet werden.

Außerdem kann durch Verwendung von SiC usw. eine Anordnung hergestellt werden, die zu der Tunnelschicht wird. Die nachstehende Erläuterung bezieht sich auf ein Beispiel eines Einkristalls. Beispielsweise weist SiC verglichen mit Si einen Leitungsband-Energieunterschied $\Delta E_v \approx 0,53 \text{ [eV]}$, einen Va-

lenzelektronenband-Unterschied $\Delta E_c \approx 0,55$ [eV] und eine Band-
lücke $E_g \approx 2,2$ [eV] auf, und wenn sowohl SiC als auch Si
schrittweise in einem n-Leitfähigkeitstyp zu Sperrschichten
gemacht werden, weist es einen Aufbau auf, der sich von der
5 Halbleiter-/Isolator-Sperrschicht unterscheidet.

Fig. 6A, 6B sowie 6C zeigen ein Bändermodell bzw. einen Band-
aufbau einer ungleichmäßigen Sperrschicht, die denselben
Leitfähigkeitstyp (in diesem Fall n-Typ), nämlich den Isotyp
10 bzw. gleichmäßigen Typ aufweist.

Fig. 6A zeigt die Sperrschicht des n-Typ-Siliziums und des n-
Typ-SiC, ΔE_c , ΔE_v , die jeweils darunter und darüber auftre-
ten, wobei eine Kerbe genannte Sperre Φ_w auf der Leitungsband-
15 seite ausgebildet ist, während auf der Valenzelektronenseite
der folgende Energieunterschied erzeugt wird:

$$\Delta E_c + \Delta E_v - \Delta E_f.$$

20 Demgegenüber wird durch die Sperrschicht des n-Typ-Si, des n-
Typ-SiC und des n-Typ-Si das Energieniveau wie in Fig. 6B
dargestellt.

Außerdem verarmt durch Ausbilden von SiC zu einem Dünnsfilm
25 das SiC, so daß es ähnlich wie ein Isolationsmaterial wird,
wodurch die Potentialverteilung wie in Fig. 6C dargestellt
wird.

Mit dem Aufbau gemäß Fig. 6C kann der Elektronenstrom ver-
größert werden. In Fig. 6A bis 6C ist ein Beispiel durch Ver-
wendung von SiC dargestellt, aber es ist ersichtlich, daß an-
dere Materialien mit einer breiten unzulässigen Bandlücke
auch verwendet werden können.

35 Der Kristallaufbau des Tunnelfilms kann einkristallin, poly-
kristallin oder amorph sein.

Nachstehend wird unter Bezug auf Fig. 7 ein bevorzugtes zwei-
tes Ausführungsbeispiel der Halbleitervorrichtung be-

- schrieben. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird ein Emitterbereich 6 durch Epitaxie auf dem Basisbereich (p-Typ-Bereich 4) und auf dem Emitterbereich 6 ein Dünnschicht 30 für den Tunnel gebildet. Durch Herstellen einer derartigen Anordnung gilt
- 5 bei der vorstehend angeführten Formel (13) $W_E = 0$, wodurch es möglich wird, einen Stromverstärkungsfaktor zu erreichen, der ungefähr gleich dem vorstehend erwähnten maximalen Stromverstärkungsfaktor $h_{FE\max}$ ist.
- 10 Nachstehend wird unter Bezug auf Fig. 8 ein drittes bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Halbleitervorrichtung beschrieben. Dieses Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem vorstehend beschriebenen ersten Ausführungsbeispiel darin, daß eine Halbleitermaterial-Schicht 8 auf dem Dünnschicht
- 15 30 und eine Halbleiterschicht 10 eines Materials mit einer schmaleren unzulässigen Bandlücke als die der Halbleitermaterial-Schicht 8 außerdem auf der Halbleitermaterial-Schicht 8 gebildet ist. Mit einem derartigen Aufbau wird gemäß diesem Ausführungsbeispiel der ohmsche Widerstand zwischen dem Emit-
- 20 ter und dem Metall verbessert. Falls die Halbleitermaterial-Schicht 8 aus SiC besteht, sollte die Halbleiterschicht 10 vorzugsweise als Si gewählt werden, während, falls die Halbleitermaterial-Schicht 8 aus Si besteht, die Halbleiterschicht 10 vorzugsweise als Ge usw. gewählt werden sollte.
- 25 Der Leitfähigkeitstyp der Halbleiterschicht 10 ist derselbe wie der der Halbleitermaterial-Schicht 8.
- Fig. 9 zeigt ein Schaltungsbeispiel, das ein Beispiel einer
- 30 elektronischen Vorrichtung als Anwendungsbeispiel der Halbleitervorrichtung gemäß dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel darstellt. Sie zeigt den Fall, wenn der bei dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel 1 dargestellte bipolare Transistor in der Festkörper-Bildaufnahmevorrichtung
- 35 verwendet wird, die in der japanischen Patentanmeldung Nr. 62-321 423 durch die vorliegende Anmelderin offenbart wurde.

Im einzelnen verwendet gemäß Fig. 9 der Transistor Tr, der die Sensorzellen C_{11} , C_{12} , ... C_{mn} des Flächensensors AS bil-

det, den bipolaren Transistor des MIS-Typs, der bei dem vorstehend beschriebenen ersten Ausführungsbeispiel dargestellt worden ist.

- 5 Wenn der Flächensensor AS gemäß Fig. 9 als Farbkamera verwendet wird, wird das Einschalten des Lesens von optischen Informationen derselben photoelektrischen Wandlervorrichtung mehrere Male durchgeführt.
- 10 Da in dem Kollektorbereich des ersten Leitfähigkeitstyps und in dem Basisbereich des zweiten Leitfähigkeitstyps $C_{tot} = 10$ [pF] und $C_v = 2,5$ [pF] gilt, muß wie vorstehend beschrieben beispielsweise, damit der Nicht-Löschungsgrad zu 0,9 oder mehr gemacht wird, h_{FE} 2250 oder mehr betragen. Zum Erhalt
- 15 eines ausreichenden Nicht-Löschungsgrads kann geschätzt werden, daß h_{FE} 2000 oder mehr betragen muß.

- Im Gegensatz dazu beträgt bei dem Stand der Technik beispielsweise bei einem bipolaren Transistor mit gleichmäßiger
- 20 Sperrschicht h_{FE} ungefähr 1000, weshalb kein ausreichender Nicht-Löschungsgrad erhalten werden kann, während bei der vorliegenden Erfindung ein hervorragender Nicht-Löschungsgrad erhalten werden kann, weil h_{FE} bei der Halbleitervorrichtung ausreichend groß gemacht werden kann.

- 25 Außerdem sollte der Nicht-Löschungsgrad möglichst 0,98 oder mehr betragen. In diesem Fall muß h_{FE} ungefähr 10000 oder mehr betragen, aber es ist schwierig, einen solchen Wert bei dem herkömmlichen bipolaren Transistor mit gleichmäßiger
- 30 Sperrschicht zu erhalten.

- Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 9 wurde beispielhaft ein Flächensensor beschrieben, aber die vorliegende Erfindung kann natürlich auch bei einem Zeilensensor angewandt werden.

- 35 Außerdem können bei dem Transistor gemäß Fig. 9 die vorstehend beschriebenen zweiten und dritten Ausführungsbeispiele angewandt werden.

Außerdem kann in diesem Fall ein hervorragendes nichtzerstörendes bzw. nichtlöschendes Lesen durchgeführt werden.

In diesem Fall stellt zum Lesen aus demselben Element mehrere Male das Verhältnis des elektrischen Ausgangssignals während des ersten Lesens zu dem während des zweiten Lesens und danach ein Problem dar, und eine Korrektur ist erforderlich, wenn der Wert dieses Verhältnisses kleiner geworden ist.

10 Wenn das Verhältnis des ersten Lese-Ausgangssignals zu dem zweiten als der Nicht-Löschungsgrad definiert wird, wird der Nicht-Löschungsgrad durch die folgende Formel ausgedrückt:

$$\text{Nicht-Löschungsgrad} = (C_{\text{tot}} \times h_{\text{FE}}) / (C_{\text{tot}} \times h_{\text{FE}} + C_v).$$

15

In diesem Fall bezeichnet C_{tot} die Gesamtkapazität des Transistors Tr gemäß Fig. 9, die an die Basis angeschlossen ist, die durch die Basis-Kollektor-Kapazität C_{bc} und C_{ox} bestimmt ist. C_v ist die Fluß-Kapazität der Lesezeile, die durch VL_1

20 ... VL_n dargestellt ist. Jedoch kann C_{ox} abhängig von dem Schaltungssystem manchmal nicht existieren.

Deswegen kann der vorstehend erwähnte Nicht-Löschungsgrad durch Erhöhen des Stromverstärkungsfaktors h_{FE} leicht verbessert werden. Auf diese Weise kann durch Erhöhen von h_{FE} der Nicht-Löschungsgrad vergrößert werden.

In diesem Fall ist der Aufbau derart, daß er einen Flächen-sensorbereich, der HD ("high division", hohe Aufteilung) entspricht, der nämlich einer hohen Auflösung entspricht, einen Emitterbereich des ersten Leitfähigkeitstyps, einen auf dem Emitterbereich vorgesehenen Dünnfilm, der einen Tunnelstrom fließen lassen kann, und eine Halbleitermaterial-Schicht aufweist, die auf den Dünnfilm geschichtet ist und eine breitere unzulässige Bandlücke als zumindest der vorstehend erwähnte Emitterbereich aufweist, weshalb es möglich ist, eine Zunahme des Basisstroms an dem feinen Strombereich des Kollektorstroms zu unterdrücken, wodurch ein bemerkenswert hoher Stromverstärkungsfaktor über einen weiten Bereich des Kolle-

torstroms erhalten und eine Abhängigkeit des Stromverstärkungsfaktors von dem Kollektorstrom verhindert werden kann. Wegen des schützenden Vorhandenseins des Dünnschichtfilms tritt keine gegenseitige Beeinflussung zwischen der Halbleitermaterial-Schicht mit einer breiten unzulässigen Bandlücke und dem Emitterbereich auf, wodurch eine Stabilisierung des Halbleitermaterials bewirkt werden kann.

10 Außerdem kann durch Einstellen des vorstehend beschriebenen Dünnschichtfilms auf eine Dicke, die verursacht, daß ein Tunnel-effekt sowohl für Elektronen als auch für positive Löcher auftritt, eine Verringerung des Emitterwiderstands bewirkt werden.

15 Da der Emitterbereich eine Dicke aufweist, die dünner als die Diffusionslänge von aus dem vorstehend erwähnten Basisbereich injizierten Minoritäts-Ladungsträgern ist, wird der Stromverstärkungsfaktor wesentlich erhöht.

20 Darüberhinaus kann durch Beschichten einer Halbleiterschicht mit einer schmaleren unzulässigen Bandlücke auf der vorstehend erwähnten Halbleitermaterial-Schicht mit einer breiten unzulässigen Bandlücke verglichen mit ihrer unzulässigen Bandlücke der ohmsche Widerstand zwischen dem Emitterbereich
25 und dem Metall weiter verringert werden.

Durch Verwendung der Halbleitervorrichtung als photoelektrisches Wandlerelement kann der Stromverstärkungsfaktor des Transistors als photoelektrisches Wandlerelement verbessert
30 und auch eine Abhängigkeit des Stromverstärkungsfaktors von dem Kollektorstrom beseitigt werden, wodurch die Linearität des Ausgangssignals relativ zu dem optischen Eingangssignal erhalten werden kann, damit eine elektronische Vorrichtung mit einem geringen Dunkelstrom und einem hohen Rauschabstand
35 geschaffen wird.

10

Patentansprüche

1. Halbleitervorrichtung mit:

einem Kollektorbereich (2, 3, 7) eines ersten Leitfähig-
keitstyps,

15 einem Basisbereich (4, 5) eines zweiten Leitfähigkeits-
typs,

einem Emitterbereich (6) des ersten Leitfähigkeitstyps
mit einer Dicke, die nicht größer als eine Diffusionslänge
eines von dem Basisbereich (4, 5) injizierten Minoritäts-

20 Ladungsträgers ist,

einem Dünnsfilm (30), der auf dem Emitterbereich (6) zum
Fließenlassen eines Tunnelstroms vorgesehen ist, und

einer Halbleitermaterial-Schicht (8), die auf den Dünns-
film (30) geschichtet ist und eine Energieband-Lücke auf-
25 weist, die zumindest breiter als die des Materials des Emit-
terbereichs (6) ist.

2. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Dicke des
Dünnsfilms (30) dergestalt ist, daß der Tunneleffekt für beide
30 Arten von Ladungsträgern, das heißt Elektronen und Löcher,
auftritt.

3. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine andere
Halbleiterschicht (10) mit einer vergleichsweise schmaleren
35 Bandlücke auf der Halbleitermaterial-Schicht (8) geschichtet
ist.

4. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Halblei-
tervorrichtung als photoelektrische Wandlervorrichtung ver-
40 wendet wird.

5 Deutschsprachige Übersetzung der Beschreibung
der Europäischen Patentanmeldung Nr. 90 312 979.9
des Europäischen Patents Nr. 0 431 835

10 HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

15 Diese Erfindung betrifft eine Halbleitervorrichtung und insbesondere eine Halbleitervorrichtung mit einer bipolaren Transistoranordnung.

Verwandter Stand der Technik

20 Als Stand der Technik sind Vorrichtungen mit Dünnschichten bekannt, durch die ein Tunnelstrom zu dem Emitter fließt, wie bipolare Transistoren (BPT) mit MIS-Anordnung, heterobipolare Transistoren (HBT) mit einem Mikrokristall (μc) oder einem amorphen Halbleiter als Emitter usw.

25 In dem Fall des vorstehend erwähnten bipolaren Transistors mit MIS-Anordnung werden durch Verwendung des Unterschieds der Tunnel-Wahrscheinlichkeit zwischen Elektronen und positiven Löchern die positiven Löcher aus der Basis durch den vorstehend erwähnten Dünnschicht behindert, wodurch eine Verringerung des Basisstroms bewirkt wird.

30 Der vorstehend erwähnte herkömmliche bipolare Transistor mit MIS-Anordnung erfordert jedoch zum Erhalten von Eigenschaften für eine Verringerung des vorstehend erwähnten Basisstroms eine erforderliche Mindestdicke des vorstehend erwähnten Dünnschichts. Falls dessen Dicke zu gering ist, wird das Sperrverhältnis der positiven Löcher verringert, wodurch keine Verringerung des Basisstroms bewirkt werden kann, so daß der
40 direkte Reihenwiderstand des Emitters zunimmt.

5. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Dicke des Dünnsfilms (30) nicht größer als 5 nm (50 Å) ist.

5 6. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Emitterbereich (6) aus einem Silizium-Einkristall gebildet ist.

7. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Halbleitermaterial-Schicht (8) aus einem Material gebildet ist, das aus mikrokristallinem Silizium, GaAs und SiC ausgewählt wird.
10

8. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Halbleitermaterial-Schicht (8) amorph, polykristallin oder einkristallin ist.

15 9. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Dünnsfilm (30) aus SiO_2 , Si_3N_4 , Al_2O_3 oder SiC gebildet ist.

1/6
 FIG. 1

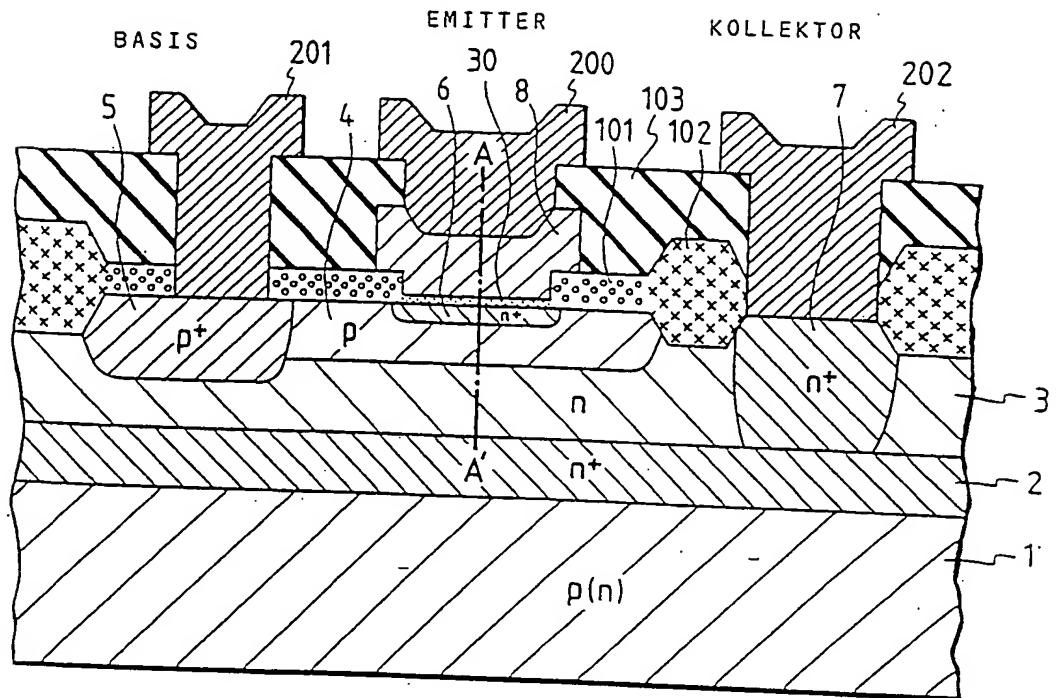


FIG. 2

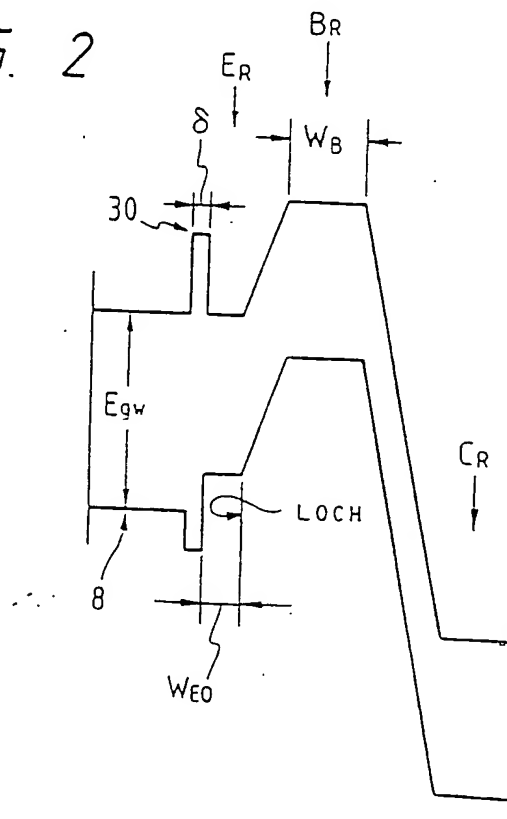


FIG. 3A

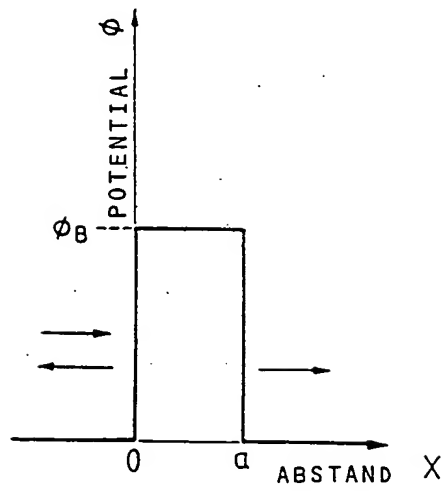


FIG. 3B

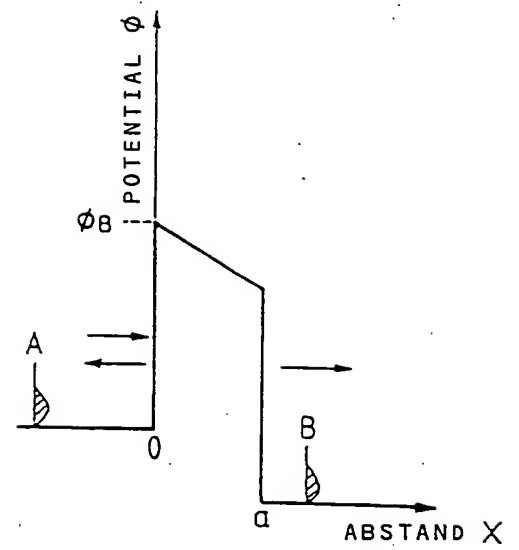


FIG. 4

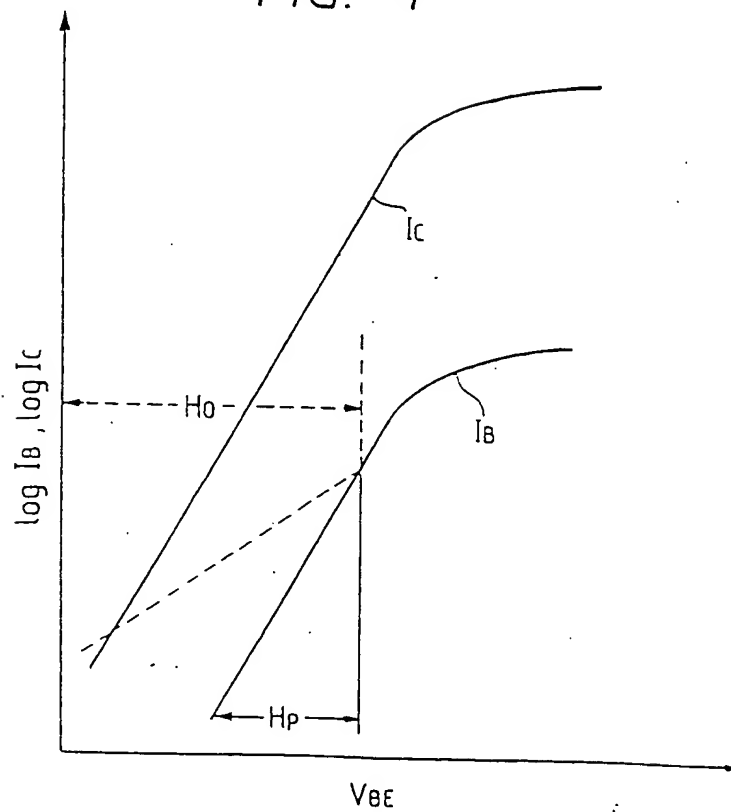


FIG. 5

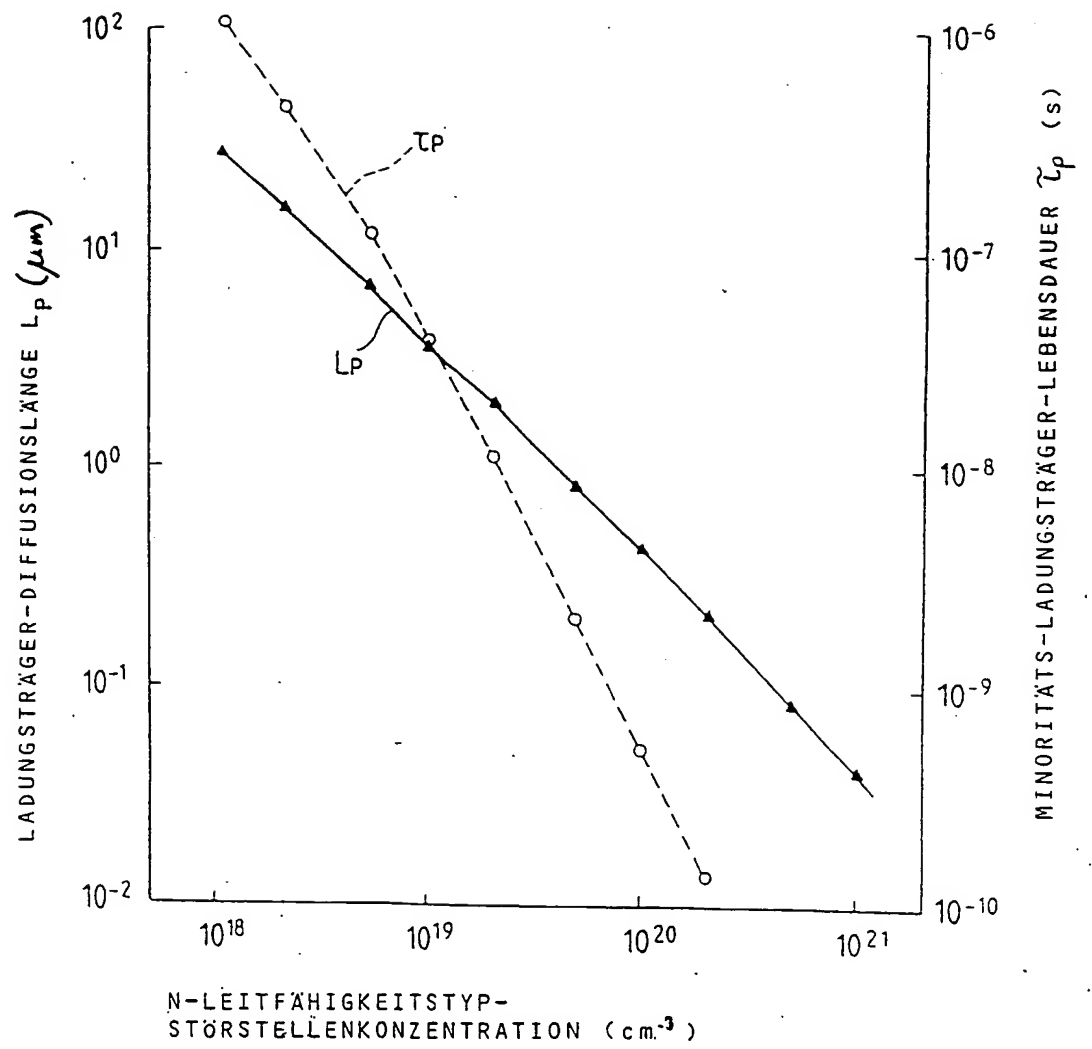


FIG. 6A

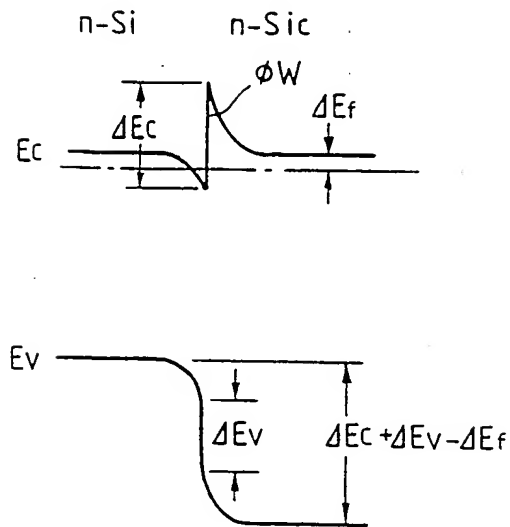


FIG. 6B

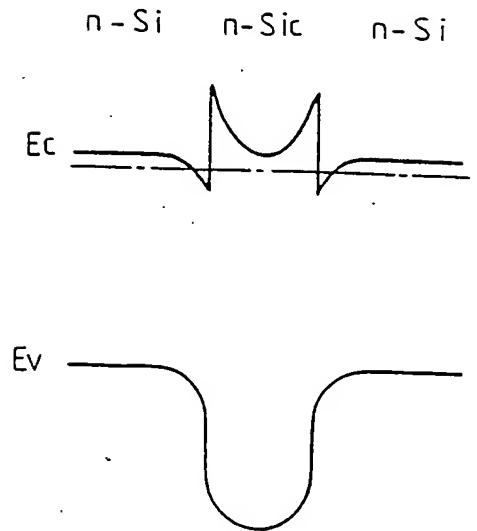


FIG. 6C

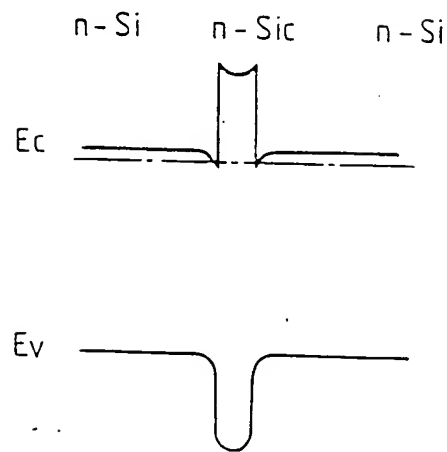


FIG. 7

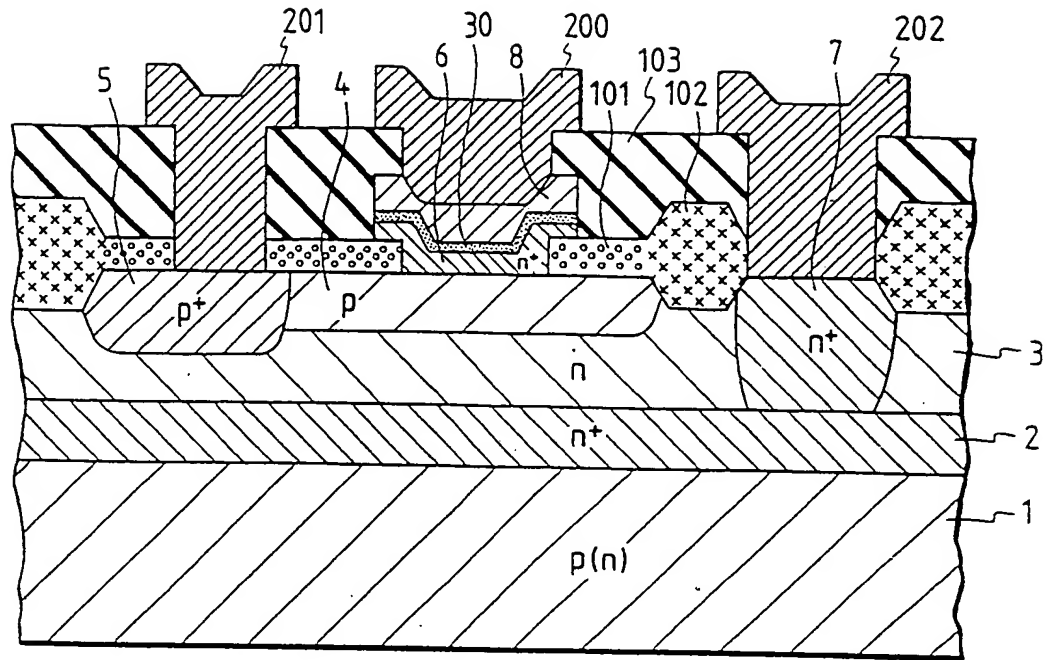


FIG. 8

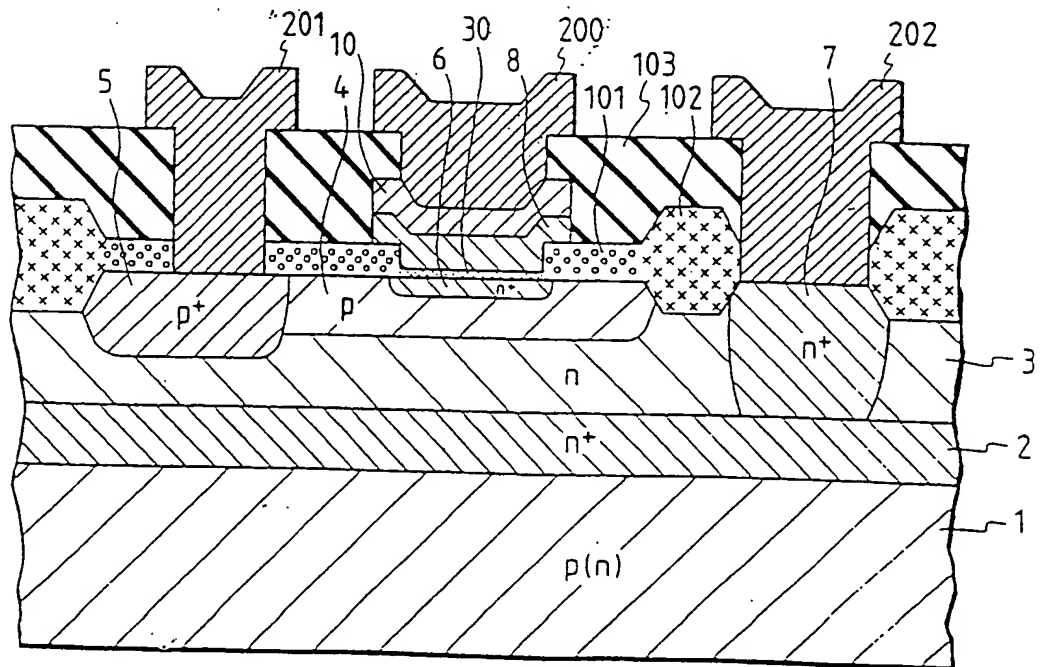


FIG. 9

